

English language abstract of JP-A-11-102894 (1999)

[Issues] Relating to etching of silicone oxide film by fluorocarbon gas plasma in manufacturing semiconductors, an etching method having superior fine workability and high selectivity for resist and silicone nitride film, and an apparatus thereof, should be provided.

[Measures to solve the issues] A generation ratio of  $F/CF_2$  is controlled independently from a generating amount of ions by generating at least two kinds of electronic temperature regions in the plasma, and making width of the at least two kinds of electronic temperature regions variable.

[Advantages] An oxide film etching having a high selectivity for resist and silicone nitride film, which is not depending significantly on pressure and flow rate of the gas, becomes available.

[Selected drawing] FIG. 1

- (19)【発行国】日本国特許庁(JP)  
(12)【公報種別】公開特許公報(A)  
(11)【公開番号】特開平11-102894  
(43)【公開日】平成11年(1999)4月13日  
(54)【発明の名称】ドライエッチング方法およびその装置  
(51)【国際特許分類第6版】

H01L 21/3065

【FI】

H01L 21/302 J

【審査請求】未請求

【請求項の数】17

【出願形態】OL

【全页数】8

(21)【出願番号】特願平9-261326

(22)【出願日】平成9年(1997)9月26日

(71)【出願人】

【識別番号】000005108

【氏名又は名称】株式会社日立製作所

【住所又は居所】東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72)【発明者】

【氏名】伊澤 勝

【住所又は居所】東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地 株式会社日立製作所中央研究所内

(72)【発明者】

【氏名】田地 新一

【住所又は居所】東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地 株式会社日立製作所中央研究所内

(72)【発明者】

【氏名】横川 賢悦

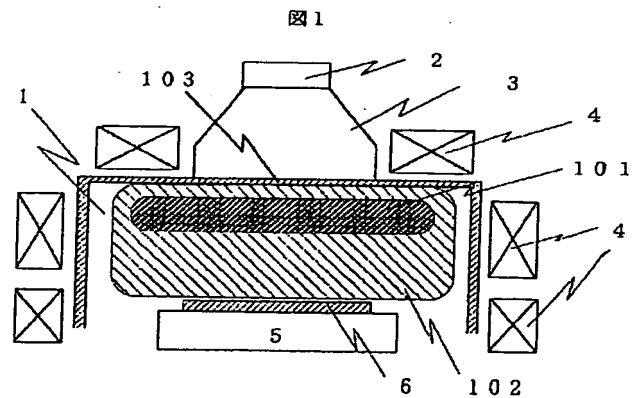
【住所又は居所】東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地 株式会社日立製作所中央研究所内

(57)【要約】

【課題】 半導体製造におけるフロロカーボンガスプラズマによる酸化ケイ素膜のエッチングにおいて、微細加工性に優れ、レジストや窒化ケイ素膜に対して選択性が高いエッチング方法および装置を提供する。

【解決手段】 2種類以上の電子温度領域をプラズマ中に設け、この2つ以上の電子温度領域の大きさを可変させることにより、F/CF<sub>2</sub>生成比をイオン生成量と独立に制御する。

【効果】 ガス圧力、ガス流量に大きく依存することなく、レジストや窒化膜に対する選択比が高い、酸化膜エッチングが可能になる。



**【特許請求の範囲】**

【請求項1】第1の電子温度領域と、第2の電子温度領域とを有するプラズマを利用して、膜をエッチングすることを特徴とするドライエッチング方法。

【請求項2】前記第1の電子温度と前記第2の電子温度の差は1 eV以上であることを特徴とする請求項1記載のドライエッチング方法。

【請求項3】前記第1の電子温度と前記第2の電子温度の差は5 eV以上であることを特徴とする請求項1記載のドライエッチング方法。

【請求項4】前記第1の電子温度が2 eV以上4 eV以下であって、前記第2の電子温度が5 eV以上であることを特徴とする請求項1記載のドライエッチング方法。

【請求項5】前記膜は酸化ケイ素膜であり、前記プラズマを発生させるためのガスはフロロカーボンガスであることを特徴とする請求項1記載のドライエッチング方法。

【請求項6】前記プラズマを発生させるためのガスの圧力は4 Pa以下であることを特徴とする請求項1記載のドライエッチング方法。

【請求項7】処理室内にフロロカーボンガス含むガスを導入し、前記ガスをプラズマ化させ、前記プラズマ中のフッ素ラジカル、フロロカーボンラジカルおよびイオンの生成量をエッチング中に独立に制御して、前記プラズマを利用して絶縁膜をドライエッチングすることを特徴とするドライエッチング方法。

【請求項8】前記フッ素ラジカル及び前記フロロカーボンラジカルの量は、前記エッチング中に変化することを特徴とする請求項7記載のドライエッチング方法。

【請求項9】前記プラズマは、前記処理室外部からソレノイドコイルによって形成された磁場を前記処理室に印加することにより形成され、前記磁場の磁場勾配を前記ソレノイドコイルによって制御することにより、Fラジカルとフロロカーボンラジカルの生成比率を制御することを特徴とする請求項7記載のドライエッチング方法。

【請求項10】前記磁場勾配を前記絶縁膜のエッチングの経過とともに大きくすることを特徴とする請求項7記載のドライエッチング方法。

【請求項11】前記処理室内のガス圧力は、4 Pa以下であることを特徴とする請求項7記載のドライエッチング方法。

【請求項12】前記プラズマは高周波を印加することにより形成され、前記高周波の周波数は300 MHz以上900 MHz以下であることを特徴とする請求項7記載のドライエッチング方法。

【請求項13】前記プラズマは、入力パワーの異なる高周波を少なくとも2種類印加することにより形成されることを特徴とする請求項7記載のドライエッチング方法。

【請求項14】処理室と、前記処理室内に設けられ、ド

ライエッチングされるべき基体を設置するための台と、前記処理室内にガスを導入する手段と、前記ガスをプラズマ化する手段と、前記プラズマ中に第1及び第2の電子温度領域を形成する手段とを有することを特徴とするドライエッチング装置。

【請求項15】前記プラズマ化する手段は、300 MHz以上900 MHz以下の高周波を印加する手段であることを特徴とする請求項14記載のドライエッチング装置。

【請求項16】前記処理室の周囲には4つ以上のソレノイドコイルが設置されていることを特徴とする請求項14または15記載のドライエッチング装置。

【請求項17】前記プラズマ化する手段は、処理室内に設けられたアンテナに高周波を印加する手段であり、前記基体と前記アンテナとの距離は100 mm以下であることを特徴とする請求項14記載のドライエッチング装置。

**【発明の詳細な説明】****【0001】**

【発明の属する技術分野】本発明は、半導体装置の微細加工に用いるドライエッチング装置及びドライエッチング方法に関し、特に酸化ケイ素膜の高精度ドライエッチング加工を実現するドライエッチング装置及びドライエッチング方法に関する。

**【0002】**

【従来の技術】半導体装置においては、ウエハ上に形成されたトランジスタとメタル配線間およびメタル配線間を電気的に接続するために、トランジスタ構造上および配線間に形成された絶縁膜(SiO<sub>2</sub>を主成分とする薄膜、以後、酸化膜と呼ぶ)に、ドライエッチング方法でコンタクトホールを形成し、コンタクトホール内に電気伝導体を充填する。ドライエッチングでは、エッチングガスを真空容器に導入し、このガスに高周波バイアスもしくはμ波を印加プラズマを発生させ、プラズマ中で生成した活性種およびイオンによって酸化膜を選択的にエッチングし、コンタクトホールを形成する。このエッチングに際して、ホールパターンを転写したレジスト薄膜が酸化膜上に形成されている。このコンタクトホール加工では、レジスト膜、コンタクトホールの下部にある配線層、およびトランジスタを形成しているシリコンに対し選択的に酸化膜をエッチングする必要がある。この他、ウエハ上に形成された電界効果トランジスタのゲート電極を、配線層間と異なった材質の第2の絶縁膜で覆い、ソースおよびドレイン領域と配線層を接続するドライエッチング方法においては、エッチング中、ホール内に前記第2の絶縁膜が現れるため、第2の絶縁膜に対する選択性も必要となる。このコンタクト加工のことをセルフアラインコンタクト(SAC)加工といい、第2の絶縁膜として、窒化ケイ素膜が用いられる。

【0003】上記コンタクトホールの加工は、エッチン

グ装置内に $\text{CF}_4$ 、 $\text{CHF}_3$ 、 $\text{C}_4\text{F}_8$ 等のフロロカーボンガスおよび $\text{Ar}$ ガスを導入し、4 Paから10 Paのガス圧力条件で高周波プラズマ放電して、ウエハに1.5から2.0 kVの $V_{pp}$ 電圧が印加される条件でエッチングを行なっている。配線層間の酸化膜が厚く、コンタクトホールのアスペクト比（深さ／直径）が高い場合には、ホール開口性を高めるため酸素ガスの添加、SAC加工においては、窒化膜に対する選択性を高めるため $\text{CO}$ ガスの添加等が行なわれてきた。

#### 【0004】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、従来のエッチング装置では、ガス圧力、プラズマ発生に必要な高周波パワー等のエッチング条件を決めると、プラズマ密度および電子温度が決めってしまうため、ガス解離による $\text{F}$ と $\text{CF}_2$ およびイオンの生成量が固定されてしまう。プラズマ中では、 $\text{CF}_2$ の他、 $\text{CF}$ 、 $\text{CF}_3$ 、 $\text{C}_2$ 等が存在するが、本明細書では、 $\text{C}$ 、 $\text{CF}$ 、 $\text{CF}_2$ 等を $\text{CF}_2$ ラジカルで代表し、 $\text{CF}_2$ ラジカルを $\text{CF}_2$ で、 $\text{F}$ ラジカルを $\text{F}$ で表記する。このため $\text{F}$ と $\text{CF}_2$ の生成量を一定にしたまま、イオン生成量を変えたり、イオン生成量一定の条件で、 $\text{F}$ と $\text{CF}_2$ の入射量を変えることが難しかった。例えば、平行平板型のエッチング装置の場合、プラズマ生成用の高周波バイアスのパワーを高くすると、プラズマ密度が高くなるためイオン生成量が増加し、同時に、プラズマによる解離が進むため $\text{CF}_2$ に対する $\text{F}$ の生成量も変わってしまう。

【0005】このような従来のエッチング装置では、次のような問題が生じる。アスペクト比が高いコンタクト加工する場合、レジスト選択比が高い条件では、コンタクトホール底面でフッ素ラジカル $\text{F}$ が少なくなるため、 $\text{CF}$ 系のラジカルによりポリマーが形成され、ホールの途中でエッチングが停止してしまう。逆にエッチングが停止しない条件では、酸素ガスの添加やフッ素過剰になり、酸素やフッ素により、レジストマスクのエッチングされるため、レジストに対する選択比が十分に得られなくなってしまう。従来の技術では、プラズマ中のガス解離が固定され、この問題に対応できなかった。

【0006】この他、ガス圧力が高い条件（4 Pa以上）でアスペクト比の高いコンタクトホールをエッチングする場合、ガス分子との衝突により、ウエハに対し傾め方向から入射するイオンがあるため、酸化膜の一部が横方向にエッチングされてしまい垂直加工することが難しくなる。ガス分子との衝突は、ガス圧力を低くすることにより、低減できるが、従来の装置では、ガス圧力を低くするとプラズマ密度と電子温度が変わってしまうため、 $\text{F}$ の比率が増えレジストや窒化膜に対する十分な選択比が得られず、低ガス圧力化の障害となっていた。

【0007】上記酸化膜のエッチングにおいては、半導体装置の微細化に伴い、加工精度、窒化膜に対する選択比（対窒化膜選択比）およびレジストに対する選択比等

の向上、および、半導体装置の平坦化や配線の多層化に伴い、深さ／ホール径比率（アスペクト比）の高いコンタクトホールの加工が必要となってきた。

【0008】本発明が解決しようとする課題は、プラズマ中での $\text{CF}_2$ に対する $\text{F}$ およびイオンの生成量を独立に制御し、アスペクト比の高いコンタクトホールや窒化ケイ素膜に対して高い選択比が要求される酸化膜の加工を実現することである。

#### 【0009】

【課題を解決するための手段】上記課題は、電子温度の異なる2以上のプラズマ領域を形成することによって達成される。

【0010】フロロカーボンガスを用いた酸化膜エッチングにおいて、 $\text{CF}_2$ に対する $\text{F}$ の生成量は、プラズマ温度に依存し、イオンの生成量はプラズマ生成に導入したパワーに比例して決まる。 $\text{C}_4\text{F}_8$ の場合、 $\text{C}_4\text{F}_8$ から $\text{F}$ の生成の閾エネルギー6 eV程度であるのに対し、 $\text{CF}_2$ の生成は12 eV程度である。このため、電子温度が低い場合（1-4 eV）、 $\text{F}$ が生成しやすく $\text{F}/\text{CF}_2$ 生成比は大きくなる。電子温度が5-20 eVでは、 $\text{CF}_2$ の生成が促進されるため、 $\text{F}/\text{CF}_2$ 生成比は低電子温度の場合に比べ小さくなる。そこで、2種類の電子温度を用いると、高電子温度領域で $\text{F}$ と $\text{CF}_2$ を生成させ、低電子温度領域で $\text{F}$ を生成させることが可能になる。この2つの電子温度領域の大きさを可変させることにより、 $\text{F}/\text{CF}_2$ 比を制御する。これらの電子温度の差は1 eV以上、好ましくは5 eV以上あると良い。

【0011】プラズマ中での $\text{CF}_2$ に対する $\text{F}$ およびイオンの生成量を独立に制御すべきであることは以下の理由による。導入したフロロカーボンガスが、プラズマ中で $\text{CF}_2$ ラジカルと $\text{F}$ ラジカルおよびイオンに解離しウエハに入射する。酸化膜のエッチングは、 $\text{CF}_2$ および $\text{F}$ が付着した面にイオンが入射することにより、エッチングが進行する。これに対し、レジストや窒化ケイ素膜は、主に $\text{F}$ とイオンによってエッチングされ、 $\text{CF}_2$ は表面でポリマーを形成するため、レジストや窒化ケイ素膜上では耐エッチング膜として作用する。このため、 $\text{CF}_2$ に比べイオンや $\text{F}$ の入射量が少ない条件でエッチングすると、レジストや窒化ケイ素膜に対して高い選択比を得ることができる。しかしながら、イオン入射量を少なくすると、酸化膜のエッチング速度が遅くなり、 $\text{F}$ の入射量が少なくなると、アスペクト比の高いホールではエッチングが停止してしまうという問題が発生する。このように、酸化膜のエッチングプロセスは、おおむね $\text{CF}_2$ 、 $\text{F}$ 、イオンの入射によって決まり、特に $\text{CF}_2$ 入射量に対するイオンの入射量および $\text{F}$ 入射量に依存する。したがって、プラズマ中での $\text{CF}_2$ に対する $\text{F}$ およびイオンの生成量を独立に制御できると、プロセス条件が広がり、結果としてより微細で深い酸化膜の加工が可能になる。

【0012】しかしながら、2つの電子温度領域でともに、Fが生成することから、全体にFが過剰な条件でF/CF<sub>2</sub>を制御することになる。Fを選択的に除外するには、水素原子を含むガス(H<sub>2</sub>、CH<sub>2</sub>F<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>等)を添加しFをHラジカルと反応させ除外することができる。この他、内壁材との反応でFを消費させることができる。具体的には、エッチング装置内壁面にSi板、SiC板等のFと反応する材料を設置し、F消費を促進するため前記板に高周波バイアスを印加することによりFを除外する。この他、CF<sub>2</sub>が壁に付着して形成されたポリマーとFを反応させてFを除外することができる。ウェハと内壁部の距離を近づけると、プラズマの体積に対する内壁面の面積が大きくなるため、エッチング装置内のプラズマで生成したFが内壁部に入射する割合が高くなる。すなわち、ウェハと内壁部を接近させることによりFは効率的にポリマーと反応し除外される。具体的には、ウェハとエッチング装置のウェハ対向面との距離を短くすることが上げられる。これらの方法と2種類の電子温度をもつプラズマを用いることにより、F/CF<sub>2</sub>比を広い範囲で制御することが可能になる。

【0013】これに対し、イオンの生成量は、プラズマ中の電子密度によって決まり、電子密度は入力する高周波のパワーにほぼ比例する。F/CF<sub>2</sub>の解離はガス分子と電子衝突によって生成するため、高周波のパワーに依存するが、2つの電子温度領域を可変させることにより、イオン生成量とは、独立にF/CF<sub>2</sub>の生成比率を制御することができる。

【0014】2種類の電子温度領域を生成する具体的な方法として、図1に示すようにエレクトロサイクロトロン共鳴(ECR)を用いたエッチング装置の場合、ECR領域で電子温度が高く(高電子温度領域103)、それ以外の部分では、低電子温度領域102を形成する。ECR領域は、外部から印加する磁場の磁場勾配を大きくするとECR領域は狭くなる。したがって、ECR領域の磁場勾配の制御により、F/CF<sub>2</sub>生成比を可変にすることが可能になる。図2に示すように、磁場勾配が小さい条件では、高電子温度領域が広がるので、F/CF<sub>2</sub>生成比は小さくなり、磁場勾配を大きくすると、高電子温度領域が狭くなるので、F/CF<sub>2</sub>生成比を大きくすることができる。この他、ECR領域は導入する高周波の周波数におおむね反比例する。例えば、周波数を2.45GHzから450MHzにするとECR領域は約5倍に広がる。したがって、導入する高周波の周波数を低くすることによって高電子温度領域を広くし、F/CF<sub>2</sub>生成比を小さくすることができる。

【0015】ECR領域101を固定した場合、ウェハ6とウェハ対向面103の距離を変えると低電子温度領域102の大きさを変えることができる。図2に示すようにウェハ6とウェハ対向面103の距離を短くすると低電子温度領域102は狭くなるため、F/CF<sub>2</sub>生成

比を小さくすることができる。

【0016】以上のようにECRエッチング装置の場合、磁場勾配、導入する高周波の周波数、ウェハとウェハ対向面の距離を制御することにより、イオンの生成量と独立にF/CF<sub>2</sub>の生成比を制御することができる。

【0017】

【発明の実施の形態】

(実施例1) 本発明に用いるドライエッチング装置を図4に示す。この装置ではエッチング処理室1にエッチングガスを導入し、マイクロ波発生器2において900MHzから2.45GHzの間の高周波を発生させ、この高周波を導波管3を通し、エッチング処理室1に輸送してガスプラズマを発生させる。ECR領域の鉛直方向の磁場勾配がECR領域の磁場強度に対し、広い範囲で制御できるようにエッチング処理室周辺に磁場発生用のソレノイドコイルを4つ設置する。これらのソレノイドコイル4によって、0から875ガウスの間の磁場が処理台のほぼ真上にくるように4つのコイル電流を制御し、エレクトロサイクロトロン共鳴(ECR)を用いて電子密度が10<sup>11</sup>個/cm<sup>3</sup>以上の高密度プラズマを発生させる。ECR領域の磁場勾配は、磁場勾配/磁場強度の値が0.1cm<sup>-1</sup>から0.01cm<sup>-1</sup>の範囲で制御する。エッチング処理室1には処理台5があり、この上に被処理物6を設置して、ガスプラズマによりエッチング処理する。エッチングガスは、ガス流量制御装置を通してエッチング処理室1に導入され、排気ポンプ7によりエッチング処理室1の外に排気される。被処理物を設置する処理台5には高周波電源12を備え、400kHzから13.56MHzまでの高周波バイアスを印加する。処理台の位置は、処理台の対向面(ガス導入口11)から距離が20mmから150mmの範囲で固定することができる。

【0018】この装置に、被処理物として8インチシリコンウェハを搬送する。このシリコンウェハ上には厚さ2mmの酸化膜が形成されその上部にはマスクパターンを転写したレジストマスクが形成されている。レジストマスクには、200nm径のホールが形成されている。

【0019】この装置に、Ar400sccm、C<sub>4</sub>F<sub>8</sub>を10sccm、CH<sub>2</sub>F<sub>2</sub>を5sccmガス導入口より処理室に導入しガス圧力を2Paにする。2.45GHz、1kWの高周波をマイクロ波発生器より発生させ、処理台に800kHz、1000Wのバイアスを印加し、酸化膜をエッチングする。処理台の位置をマイクロ波導入口から100mmとして、ウェハの真上6cmの位置で磁場強度が875ガウス、その位置における磁場勾配が50ガウス/cmとなるようにコイル電流を調整する。この条件で、ECR領域の厚さは10mm程度で、電子温度は10eV程度である。ECR領域以外の電子温度は3eV程度になる。すなわち、約10mmの厚さの高電子領域と約90mmの厚さの低電子領域が形

成される。Fの一部は、 $\text{CH}_2\text{F}_2$ から生成されるHと反応して除外される。このため、 $\text{C}_4\text{F}_8$ からのFの生成量は $\text{CF}_2$ に対し2倍程度であるが、ウェハに入射するF/ $\text{CF}_2$ の比率は、0.6程度になると推定できる。電子密度は $3 \times 10^{11}$ 個/ $\text{cm}^3$ 程度で、イオン電流密度は $5 \text{ mA}/\text{cm}^2$ 程度になる。この条件で、酸化膜のエッチング速度は約 $700 \text{ nm}/\text{min}$ で、レジストに対する選択比は5である。加工形状はほぼ垂直な形状が得られるが、同じ条件でガス圧力を $5 \text{ Pa}$ まで高くすると、斜めに入射するイオンのため $20 \text{ nm}$ ほど横方向に削れがホール内に見られる。ガス圧力、 $4 \text{ Pa}$ 以下ではほぼ垂直な加工形状になる。

【0020】磁場勾配を $15 \text{ G}/\text{cm}$ にすると、ECR領域の厚さは、 $20 \text{ mm}$ 程度に広がる、この結果、ウェハに入射するF/ $\text{CF}_2$ 比は0.3程度に小さくなる。一方、プラズマ密度は磁場勾配を変えてもほとんど変化せず、両者の場合、イオン電流密度は $5 \text{ mA}/\text{cm}^2$ 程度になる。このため、酸化膜のエッチング速度は、ほとんど変わらず平面部では $700 \text{ nm}/\text{min}$ 程度になる。これに対し、Fの比率が小さくなるためレジスト選択比は30とよくなるが、 $\text{CF}_2$ が過剰にあるため、酸化膜は深さ約 $1 \text{ mm}$ までエッチングされ停止する。

【0021】エッチング中に磁場勾配を、 $15 \text{ Gauss}/\text{cm}$ から $50 \text{ G}/\text{cm}$ に、毎分 $12 \text{ G}/\text{cm}$ で変化させると、変えるとエッチング速度は $700 \text{ nm}/\text{min}$ 程度で、エッチングは停止することなく、3分ほどで終了する。レジストに対する選択比は20程度になり、磁場勾配 $50 \text{ G}/\text{cm}$ のエッチングに比べレジスト選択比が大きく改善される。

【0022】このように磁場勾配を制御するとイオン電流を一定に保ったまま、F/ $\text{CF}_2$ 比を変えることができる。磁場勾配を小さくすることによってレジストに対する選択比は高くなる。しかしながら、磁場勾配をより小さくするということは、エッチング装置内で均一な磁場を形成することを意味し、これを同じ磁場強度で実現するためには、エッチング装置周辺に多くのコイルを設置する必要がある。これに対し、磁場強度を小さくすると、磁場勾配もそれに比例して小さくなるので、容易に磁場勾配を小さくすることができる。ECRを形成する磁場強度は、マイクロ波の周波数によって決まるので、磁場強度および磁場勾配を小さくするには、マイクロ波の低周波数化が有利である。

【0023】（実施例2）次に同じ装置を用いてマイクロ波の周波数を $900 \text{ MHz}$ にした場合について説明する。ウェハの真上 $60 \text{ mm}$ の位置で磁場強度が $320 \text{ Gauss}$ 、その位置における磁場勾配が $20 \text{ Gauss}/\text{cm}$ となるようにコイル電流を調整する。この条件では、ECR領域の厚さは $20 \text{ mm}$ 程度で、磁場勾配/磁場強度がほぼ一定の条件では、 $2.45 \text{ GHz}$ の場合に比べ、ECR領域は約2倍に広がる。このため、同じ条件でガス

を導入した場合、イオン電流密度は $5 \text{ mA}/\text{cm}^2$ 程度と $2.45 \text{ GHz}$ とほぼ同じであるが、ウェハに入射するF/ $\text{CF}_2$ の比率は、0.7程度になると推定できる。このため、酸化膜のエッチング速度は約 $700 \text{ nm}/\text{min}$ で、レジストに対する選択比は15になる。

【0024】（実施例3）次に図5の装置を用いた別の実施形態について説明する。この装置ではエッチング処理室1にエッチングガスを導入し、高周波電源503において生成した $300 \text{ MHz}$ から $900 \text{ MHz}$ の間の高周波をアンテナ502からエッチング処理室1に導入してガスプラズマを発生させる。高効率放電のために磁場発生用のソレノイドコイル4をエッチング処理室周辺に3つ配置し、0から $320 \text{ Gauss}$ の間の磁場が処理台のほぼ真上にくるように2つのコイル電流を制御し、エレクトロンサイクロトロン共鳴（ECR）を用いて電子密度が $10^{11}$ 個/ $\text{cm}^3$ 以上の高密度プラズマを発生させる。エッチング処理室1には処理台5があり、この上に被処理物6を設置して、ガスプラズマによりエッチング処理する。エッチングガスは、ガス流量制御装置を通してエッチング処理室1に導入され、排気ポンプ7によりエッチング処理室1の外に排気される。被処理物を設置する処理台5には高周波電源12を備え、 $400 \text{ kHz}$ から $13.56 \text{ MHz}$ までの高周波バイアスを印加できる。処理台の位置は、マイクロ波導入窓から距離が $20 \text{ mm}$ から $150 \text{ mm}$ の範囲で固定することができる。

【0025】この装置に、被処理物として8インチシリコンウェハを搬送する。このシリコンウェハ上には厚さ $0.1 \text{ mm}$ の窒化ケイ素膜、その上に厚さ $1.5 \text{ mm}$ の酸化膜が形成されその上部にはマスクパターンを転写したレジストマスクが形成されている。レジストマスクには、 $150 \text{ nm}$ 径のホールが形成されている。

【0026】この装置に、 $\text{Ar } 200 \text{ sccm}$ 、 $\text{C}_4\text{F}_8$ を $10 \text{ sccm}$ をガス導入口より処理室に導入しガス圧力を $1 \text{ Pa}$ にする。 $450 \text{ MHz}$ 、 $1 \text{ kW}$ の高周波によりガスプラズマを生成し、処理台に $800 \text{ kHz}$ 、 $800 \text{ W}$ のバイアスを印加し、酸化膜をエッチングする。処理台の位置をアンテナ502から $60 \text{ mm}$ として、ウェハの真上 $40 \text{ mm}$ の位置で磁場強度が $160 \text{ Gauss}$ 、その位置における磁場勾配が $4 \text{ Gauss}/\text{cm}$ となるようにコイル電流を調整する。この条件で、ECR領域の厚さは $50 \text{ mm}$ 程度で、電子温度は $8 \text{ eV}$ 程度である。ECR領域以外の電子温度は $2 \text{ eV}$ 程度になる。 $\text{C}_4\text{F}_8$ の解離により、F/ $\text{CF}_2$ の生成比は1.0程度になるが、ウェハ対向面のポリマーとFとの反応によりFのウェハ入射量は少なくなる。このため、ウェハに入射するF/ $\text{CF}_2$ の比率は、0.5程度になると推定される。イオン電流密度は $5 \text{ mA}/\text{cm}^2$ 程度になる。この条件で、酸化膜のエッチング速度は約 $700 \text{ nm}/\text{min}$ でレジストに対する選択比は20、下地の窒素化膜に対する選択比は30である。

【0027】この条件で、酸化膜の膜厚が3mm、コンタクトホール径が150nmのエッチングを行うと深さ約2mmで停止してしまう。従来技術では、このような場合、酸素ガスを添加しエッチング停止を防止する必要であった。酸素ガスを添加する場合、エッチング停止が起きない条件では、レジストの選択比は、5程度に低下する。これに対し、磁場勾配を4ガウス/cmから10ガウス/cmに大きくし、Fの発生量が増やすと、酸化膜の膜厚が3mm、コンタクトホール径が150nmのエッチングでは、途中で停止することなくほぼ垂直な加工形状が得られる。このとき、レジストに対する選択比は10程度に小さくなるが、酸素添加に比べ大きくなる。

【0028】このように、同じガス条件でも磁場勾配を変えF/CF<sub>2</sub>比を制御することにより、異なるエッチング条件に対応することが容易になるとともに、酸素ガス等の添加が不要になる。

【0029】プラズマ形成用の高周波電源の周波数を300MHzから900MHzの範囲内で変えても、磁場勾配を制御することにより、450MHzと同様な結果が得られる。周波数を低くすると、ソレノイドコイルが小さくなり、低磁場勾配の条件が実現しやすいことから、特に、300MHzから600MHzの周波数が望ましい。ガス圧力については、ガス圧力を5Pa程度に高くすると横方向に酸化膜が削れが見え、0.1Pa以下の低ガス圧力では、CF<sub>2</sub>の入射量が少なくなるため、高い選択比を維持したまま十分なエッチング速度を得ることが難しくなる。したがって、ガス圧力としては特に0.1Paから4Paが望ましい。

【0030】先述のアンテナに印加する高周波の周波数が450MHz、磁場勾配が4ガウス/cmと同じエッチング条件で、ウェハとアンテナの距離を60mmから100mmに変え、1.5mmの酸化ケイ素膜、コンタクトホール径150nmの加工を行う。距離を長くすることにより、低電子温度領域が増加するとともに、ウェハ対向面におけるF消費の影響が小さくなるため、Fの相対的な入射量は増加する。このため、レジストや窒素化膜に対する選択比はそれぞれ10と12と小さくなる。ウェハとアンテナの距離が100mm以上では、選択比の変化は見られなかった。この条件に、CH<sub>2</sub>F<sub>2</sub>ガスを5sccm程加えると、レジストの選択比は20、窒素化膜の選択比は25程度になるが、CH<sub>2</sub>F<sub>2</sub>は堆積性が強く内壁面に付着するためクリーニングの頻度が増え、スループットが低下する。すなわち、ウェハとアンテナの距離を60mmに短くし、選択比を向上させる方がスループットの点で有利になる。逆にウェハとアンテナの距離を40mmまで短くすると、Fの入射量が減り、選択比は大きくなるが、1.2mm程度の深さでエッチングが停止する。このように、ウェハとアンテナ距離、磁場勾配の制御によりFの相対的な入射量を制御す

ることにより、ガス添加することなく所望のエッチング条件は達成できる。

【0031】次に図6の装置を用いた別の実施形態について説明する。この装置ではエッチング処理室1にエッチングガスを導入し、第一の高周波電源601および第二の高周波電源602において10-100MHzの間の高周波を発生させ、この高周波をリングアンテナ603、604からそれぞれエッチング処理室1に導入してガスプラズマを発生させる。プラズマの電子密度は10<sup>11</sup>個/cm<sup>3</sup>以上の高密度プラズマになる。エッチング処理室1には処理台5があり、この上に被処理物6を設置して、ガスプラズマによりエッチング処理する。エッチングガスは、ガス流量制御装置を通してエッチング処理室1に導入され、排気ポンプ7によりエッチング処理室1の外に排気される。被処理物を設置する処理台5には高周波電源12を備え、400kHzから13.56MHzまでの高周波バイアスを印加する。

【0032】この装置に、被処理物として8インチシリコンウェハを搬送する。このシリコンウェハ上には厚さ2mmの酸化膜が形成されその上部にはマスクパターンを転写したレジストマスクが形成されている。レジストマスクには、200nm径のホールが形成されている。

【0033】この装置に、Ar400sccm、C<sub>4</sub>F<sub>8</sub>を10sccmをガス導入口より処理室に導入しガス圧力を3Paにする。13.56MHzの1500Wの高周波を第一のリングアンテナ603に印加し、13.56MHzの1000Wの高周波を第二のリングアンテナ604に印加し、ガスプラズマを発生させ、処理台に800kHz、1200Wのバイアスを印加し、酸化膜をエッチングする。この条件で、第一のリングアンテナの高さ付近の電子温度は、約10eVでウェハ付近では4eVになる。酸化膜のエッチング速度は約700nm/minでレジストに対する選択比は25程度になるが、コンタクトホールの中でエッチングの停止が見られる。

【0034】第二のリングアンテナ604に印加する高周波パワーを500Wにすると、ウェハ付近の電子温度は2eV程度に小さくなる。プラズマ密度は第一のリングアンテナでほぼ決まるため、イオン電流密度は変わらず、酸化膜のエッチング速度は700nm/minであるが、電子温度の低下によりレジストの選択比は10程度に小さくなる。しかしこの条件では、エッチングの停止は生じない。

【0035】エッチング中に、第二のリングアンテナ604に印加する高周波パワーを1000Wから500Wにエッチング時間の経過とともに変えていくと、エッチングの停止なく、コンタクトホールが形成される。エッチング中の平均のレジストの選択比は20程度になる。

【0036】

【発明の効果】本発明により、F/CF<sub>2</sub>の生成比が任

意に制御できるため、ガス圧力、ガス流量に大きく依存することなく、レジストや窒素化膜に対する選択比が高い、酸化膜エッチングが可能になる。本発明を用いると、アスペクト比の高いコンタクトホール加工やレジストおよび窒化ケイ素膜に対して高い選択比で酸化膜の加工ができる。1 Pa から 4 Pa の低ガス圧力条件でも、上記エッチングが可能になるため、アスペクト比の高いコンタクトホールで垂直加工形状が得られる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の2種類の電子温度領域の形成を示す概念図である。

【図2】本発明の磁場勾配の制御による2種類の電子温度領域の形成と  $F/CF_2$  生成比の関係を示す図である。

【図3】本発明のウエハとウエハ対向面の距離の制御による2種類の電子温度領域の形成と  $F/CF_2$  生成比の関係を示す図である。

【図4】本発明で用いるドライエッチング装置の断面図である。

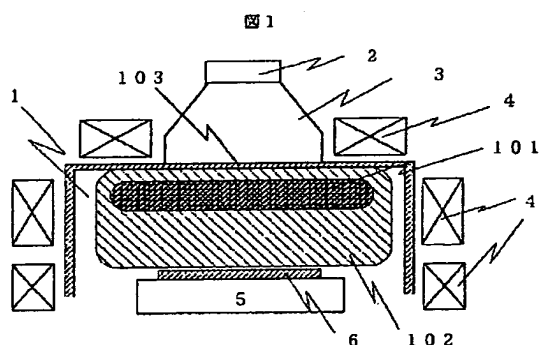
【図5】本発明で用いる別のドライエッチング装置の断面図である。

【図6】本発明で用いる別のドライエッチング装置の断面図である。

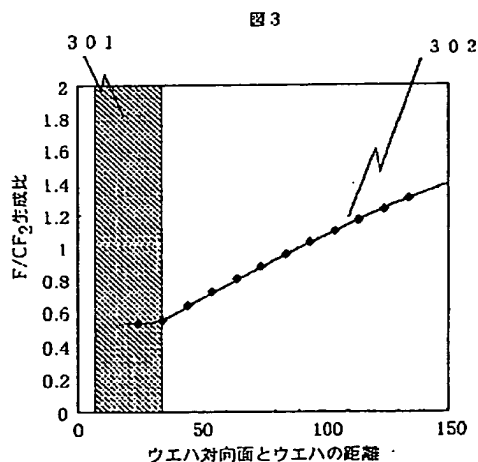
#### 【符号の説明】

1. エッチング処理室、2. マイクロ波発生器、3. 導波管、4. ソレノイドコイル、5. 処理台、6. 被処理物、7. 排気ポンプ、8. 排気バルブ、9. コンダクタンスバルブ、10. ガス流量コントローラ、11. ガス導入口、12. 処理台用の高周波電源、13. 石英チャンバー、101. 高電子温度領域、102. 低電子温度領域、103. ウエハ対向面、201. 磁場勾配と  $F/CF_2$  生成比の関係を示す曲線、301. 高電子温度領域、302. エッチング装置のウエハ対向面とウエハ間の距離と、 $F/CF_2$  生成比の関係を示す曲線、501. ガス導入口、502. アンテナ、503. 高周波電源、601. 第一の高周波電源、602. 第二の高周波電源、603. 第一のリングアンテナ、604. 第二のリングアンテナ。

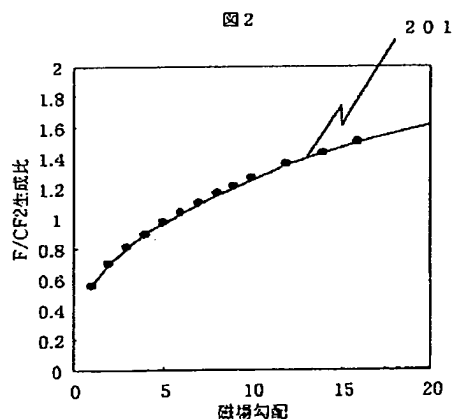
【図1】



【図3】



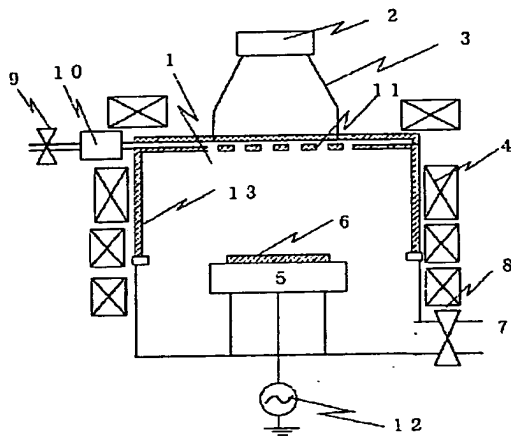
【図2】





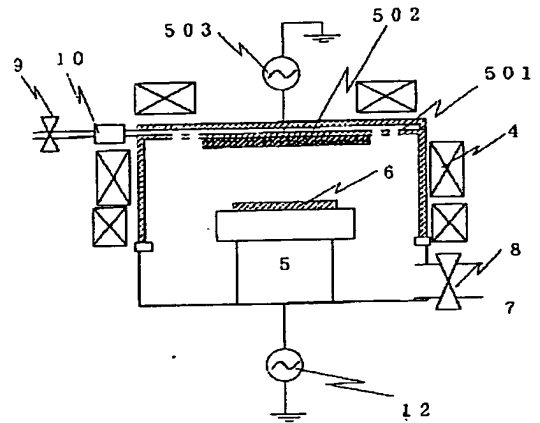
【図4】

図4



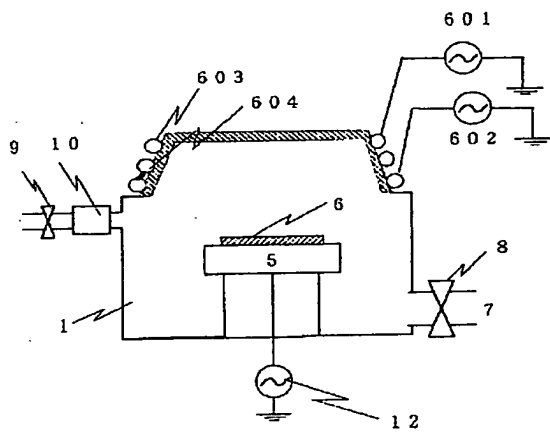
【図5】

図5



【図6】

図6



フロントページの続き

(72)発明者 山本 清二  
東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地  
株式会社日立製作所中央研究所内

(72)発明者 根岸 伸幸  
東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地  
株式会社日立製作所中央研究所内